Prosimy cytować jako: Inż. Ap. Chem. 2012, 51, 2, 41-43

Joanna WILCZARSKA

e-mail: asiulazol@utp.edu.pl

Zakład Pojazdów i Diagnostyki, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Efektywność i bezpieczeństwo użytkowania maszyn

Wstęp

Każde przedsiębiorstwo dąży do maksymalnego wykorzystania zasobów, tzn. do całkowitej transformacji nakładów w wyniki i osiągnięcie 100% efektywności. W praktyce jednak można znaleźć wiele procesów, w których efektywność osiąga poziom zaledwie kilkudziesięciu, a w skrajnych przypadkach nawet kilkunastu procent. Celem pracy jest znalezienie odpowiedzi na pytanie: Czy wskaźnik OEE może pomóc znaleźć procesy o obniżonej efektywności i przyczyny spadku oraz czy jego wartość może stanowić punkt wyjścia do działań związanych z ciągłym doskonaleniem strumienia wartości ze względu na maszyny i urządzenia?

Efektywność maszyn

Ogólnie wiadomo, jak ważna jest efektywność produkcji oraz jak ważne jest efektywne wykorzystanie zasobów – w tym maszyn i urządzeń. Należy zatem tę efektywność zmierzyć lub obliczyć. Do tego celu służy *wskaźnik wykorzystania wyposażenia* OEE (*Overall Equipment Effectiveness*)

Wskaźnik OEE – określa efektywność wykorzystania maszyn i urządzeń. Jego istota polega na porównywaniu wykorzystania maszyny do wykorzystania idealnego, które zachodzi wówczas, gdy produkcja i jej przygotowanie prowadzone są zgodnie z planem.

Wskaźnik OEE jest wypadkową trzech wskaźników [*Mazurek, 2012*], takich jak:

- *Dostępność* – stosunek czasu zaplanowanego na realizacje zadania do czasu, który w rzeczywistości można na to zadanie poświęcić. Dostępność obniżana jest przez awarie i zależnie od przyjętej metody przez przezbrajanie.
- *Wykorzystanie* – stosunek czasu dostępnego do rzeczywistej pracy. Dostępność jest zaniżana przez straty prędkości wykonywania operacji. Inaczej mówiąc, skoro maszyna miała określony czas przeznaczony na pracę, to powinna w tym czasie wyprodukować pewną ilość produktu, a wskaźnik wykorzystania pokazuje, w jakim stopniu zostało to osiągnięte.
- *Jakość* – stosunek ilości dobrych i wadliwych produktów.

$$OEE = Dostępność \times Wykorzystanie \times Jakość$$

Dostępność

Wskaźnik dostępności uwzględnia przestoje, które obejmują wszystkie zdarzenia, powodujące zatrzymanie procesu produkcji na pewien okres czasu (zwykle na kilkanaście minut, czyli czas możliwy do zarejestrowania). Przykładami takich zdarzeń są m.in.: awaria, braki materiałów, przezbrojenia. Czas przezbrojenia jest uwzględniany w analizie OEE, gdyż jest w pewnym sensie przestojem. Czasu przezbrojenia nie można w pełni wyeliminować, ale można go w większości przypadków zredukować. Pozostały, dostępny czas jest zwany *czasem operacyjnym*.

Wydajność

Efektywność bierze pod uwagę straty szybkości, które uwzględniają wszelkie czynniki powodujące, że produkcja odbywa się z szybkością mniejszą od maksymalnej. Przykładowo mogą to być mikroprzestoje, czy też praca ze zmniejszoną szybkością. Pozostały czas jest zwany *czasem operacyjnym netto*.

Jakość

Jakość uwzględnia wszelkie straty z powodu wyprodukowania produktów niespełniających standardów jakości, wliczając braki. Pozostały czas jest *czasem efektywnej produkcji*.

Dzięki OEE przedsiębiorstwo uzyskuje informacje, jak bardzo czynniki zewnętrzne ograniczają zdolności linii produkcyjnej lub maszyny. Daje to wiedzę na temat efektywności produkcji, a nie tylko wydajności.

Praktyczna wartość współczynnika OEE

Wartość współczynnika OEE jest ściśle zależna od pracy maszyn, a wartość nominalna zależy od metod obliczeniowych i procedur pozyskiwania danych.

Twierdzenie, że zakład A ma lepszą wydajność, bo ma lepszy o 5% wskaźnik OEE niż zakład B jest prawdziwe tylko i wyłącznie wtedy, jeśli specyfika produkcji i metody obliczeniowe są identyczne – a to jest mało prawdopodobne. OEE należy zatem traktować jako wskaźnik wewnętrzny, jednoliczbowy, pozwalający oszacować poprawę lub pogorszenie sytuacji, w porównaniu do sytuacji z innego okresu na tej samej linii produkcyjnej, maszynie lub grupie maszyn.

Chociaż praktyczna wartość wskaźnika OEE jest dyskusyjna, bo często oddaje rzeczywistość w sposób niejasny, to jego składniki są bardzo cenne. Gruntowna analiza dostępności, wykorzystania i jakości, a także czasu operacyjnego daje pełny i rzeczywisty obraz sytuacji [*Mazurek, 2012*].

Metody pomiaru

Wiele jest metod pomiaru. Najprostszą i najbardziej popularną, a jednocześnie najmniej efektywną metodą jest wypełnianie arkuszy strat, gdzie zakłada się 8 godzin jako czas zamówiony, a pracownicy wpisują poszczególne wartości postojów, przestojów itd. Potem zlicza się je, wpisuje do odpowiedniego arkusza, sporządza wykresy itd. Niestety metoda ta jest obarczona trzema podstawowymi wadami: pierwsza wada polega na tym, że 8 godzin podstawy czasu nie odpowiada rzeczywistości. Druga wada – to rzetelność omawianej metody. Trzecią wadę stanowi fakt, że niezmiernie rzadko zestawienia tak prowadzonych zapisów wykonywane są na bieżąco. Najczęściej jest to raport sporządzany raz na miesiąc. Problem polega na tym, że informacja o efektywności w skali miesiąca jest mało użyteczna. Jeżeli na przykład z bieżącej obserwacji pracy maszyny wynika, że aktualnie stracone zostały dwie godziny, to można znaleźć przyczyny tej straty – choćby przez wywiad z operatorem ,czy przegląd zapisów z telewizji przemysłowej. Tymczasem informacja, że w ubiegłym miesiącu straconych zostało18 godzin nie ma większej praktycznej wartości, bo nie można stwierdzić przyczyn tej straty. Aby zatem poprawić efektywność, trzeba obserwacje prowadzić ciągle, godzinę po godzinie i dzień po dniu, lokalizować źródła strat i je usuwać [*Mazurek, 2012*].

Dostępne są programy do zbierania informacji, gdzie dane wpisywane są do stosownych formularzy, a program przetwarza je na bieżąco. Jest to rozwiązanie wygodniejsze, ale nadal obarczone niebezpieczeństwem wpisywania „niedokładnych" danych.

Ideałem byłoby mieć obserwatora pracy maszyn do samodzielnego wyliczenia OEE i jego składników. Można wykorzystać do tego celu systemy kontroli wykonania produkcji MES *(Manufacturing Execution System*). Importują one dane z systemów do wizualizacji pracy maszyn i instalacji przemysłowych (SCADA).

Jest także prosty i niedrogi samodzielny system, nie wymagający integracji z innym oprogramowaniem, który można zakwalifikować do systemów MES. Mowa tutaj o systemie *Golem OEE*, który śledzi pracę maszyn za pomocą sygnałów pobranych z maszyn podłączonych do koncentratora wejść. Operator maszyny za pomocą programu/terminala ustawia odpowiedni status – czyli stan, w jakim znajduje się wybrana maszyna (postój, awaria, przezbrajanie, praca itp.) oraz informuje jaka seria (zlecenie) na danej maszynie jest realizowana. Dzięki temu

program otrzymuje informacje o bieżącym działaniu maszyny, a kilka wprowadzonych parametrów wystarcza do dokładnego opisu stanu aktualnego i historii pracy oraz wyliczenia OEE dla dowolnego okresu czasu lub dla wybranej serii/zlecenia. Jedną z cech systemu *Golem OEE* jest to, że działa on w czasie rzeczywistym, np. kiedy operator zmieni status maszyny na awarię, to czas awarii jest liczony od tego momentu do chwili, gdy zmieni status ponownie na pracę. Nie ma możliwości wpisywania nierzetelnych danych, a czasy z dokładnością do sekundy liczy komputer a nie człowiek. System *Golem OEE* dzięki temu, że pracuje w czasie rzeczywistym i podaje aktualne wskaźniki, nadaje się idealnie do ciągłego, ustawicznego śledzenia produkcji.

Tylko natychmiastowa reakcja na wszelkie zaniżenia wskaźników daje szanse na zlokalizowanie ich faktycznych przyczyn. Należy pamiętać, że wyznaczanie wskaźników ma ściśle określony cel, o którym czasami się zapomina [*Mazurek, 2012*].

Bezpieczeństwo użytkowanego wyposażenia

Jednym z głównych źródeł czynników niebezpiecznych, powodujących wypadki przy pracy jest sprzęt roboczy, w szczególności maszyny i inne urządzenia techniczne. Według danych *Głównego Urzędu Statystycznego* wśród czynności, przy których dochodzi do wypadków w Polsce (aż do 40%), są prace związane z różnego rodzaju maszynami. Wypadki te najczęściej mają miejsce w czasie obsługi produkcyjnej stacjonarnych maszyn i urządzeń, przy użytkowaniu sprzętu do pracy na wysokości, maszyn i urządzeń mobilnych oraz wyposażenia do podnoszenia ładunków. Podobne zjawiska występują również w innych państwach członkowskich Unii Europejskiej.

Poprawa bezpieczeństwa i higieny pracy przy użytkowaniu maszyn i innych urządzeń technicznych jest w Polsce jednym z priorytetów w dziedzinie ochrony zdrowia i życia ludzkiego w procesie pracy. Zakres zadań związanych z tym przedsięwzięciem wyznacza *Dyrektywa 2009/104/WE*, dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia przy użytkowaniu przez pracowników sprzętu roboczego podczas pracy. Scalono w niej wszystkie dotychczasowe zmiany (od czasu wprowadzenia *Dyrektywy 89/655/EWG*), bez zobowiązywania państw członkowskich do wprowadzenia zmian w prawie krajowym, wdrażającym *Dyrektywy 89/655/EWG, 95/63/WE i 2001/45/WE*. Postanowienia te zostały przeniesione do polskiego prawa w *Rozporządzeniu Ministra Gospodarki* z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy *(Dz.U. Nr 191, poz. 1596, zm. Dz.U. z 2003 r. Nr 178, poz. 1745)*. Polscy pracodawcy mieli obowiązek dostosowania sprzętu roboczego, przekazanego pracownikom do użytkowania przed dniem 1 stycznia 2003 r., do wymagań określonych w wymienionych aktach prawnych do dnia 31 grudnia 2005 r. Należy podkreślić, że wymagania te nie były w naszym kraju zupełnie nowe. Większość z nich wynikała z wcześniej obowiązujących przepisów prawa pracy – *Kodeksu Pracy* i szczegółowych przepisów bhp przy wykonywaniu określonych prac, bądź ustanowionych do stosowania w poszczególnych branżach. W wielu przypadkach działania pracodawców sprowadzały się do przeglądu sprzętu i uzupełnienia urządzeń ochronnych, a w ostatecznym przypadku do jego wymiany, zwłaszcza wyeksploatowanych maszyn mobilnych i maszyn do podnoszenia ładunków.

Podstawowe określenia stosowane w przepisach

Maszyna – wszelkie maszyny i inne urządzenia techniczne, narzędzia oraz instalacje użytkowane podczas pracy, a także sprzęt do tymczasowej pracy na wysokości, w szczególności drabiny i rusztowania. Jako przykłady maszyn można wymienić: obrabiarki (np. do drewna i metali), piece przemysłowe, spawarki, narzędzia ręczne o napędzie elektrycznym i bez napędu, wózki jezdniowe z napędem silnikowym, maszyny rolnicze, maszyny do podnoszenia ładunków.

Użytkowanie maszyny – wykonywanie wszelkich czynności związanych z maszyną, w szczególności jej uruchomienie i zatrzymanie, posługiwanie się nią, transportowanie, naprawianie, modernizowanie, konserwowanie i obsługa, w tym także czyszczenie.

Operator maszyny – pracownik, który wykonuje czynności związane z użytkowaniem maszyny, np. posługuje się nią podczas produkcji, dokonuje jej naprawy, obsługi technicznej.

Strefa niebezpieczna – strefa w obrębie oraz wokół maszyny, w której występuje ryzyko dla zdrowia lub bezpieczeństwa pracownika.

Pracownik narażony – pracownik znajdujący się w strefie niebezpiecznej.

Co to jest bezpieczeństwo użytkowania?

Eksploatacja obejmuje wszystkie działania techniczne, administracyjne i kierownicze przeprowadzane podczas użytkowania obiektu – miejsca pracy (budynku), wyposażenia roboczego lub środków transportu – których celem jest utrzymywanie ich w stanie gotowości do pełnienia wymaganej funkcji1 (lub przywracanie do takiego stanu) oraz ich ochrona przed uszkodzeniem lub zniszczeniem.

Czynności związane z bezpieczną eksploatacją to m.in. [*Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia Pracy, 2011*]:

- kontrola (przegląd),
- sprawdzanie (testowanie),
- pomiary,
- wymiana sprzętu,
- wymiana części,
- regulacja,
- naprawa,
- wykrywanie usterek i nieprawidłowości,
- serwisowanie.

Istnieją dwa rodzaje konserwacji [*Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia Pracy, 2011*]:

- konserwacja profilaktyczna – przeprowadzana w celu utrzymania funkcjonalności obiektu; zazwyczaj jest planowana zgodnie ze wskazówkami producenta, na podstawie których sporządza się harmonogram konserwacji;
- konserwacja korygująca – naprawianie obiektu w celu przywrócenia jego użyteczności; zadanie nieplanowane i nieuwzględnione w harmonogramie, zazwyczaj związane z większym zagrożeniem i ryzykiem niż konserwacja profilaktyczna.

Działania prowadzone podczas konserwacji – jeśli nie przestrzega się procedur bezpieczeństwa pracy – mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo i zdrowie nie tylko pracowników, którzy je bezpośrednio wykonują, ale również innych osób (w tym postronnych). Do urazów może dojść [Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia Pracy, 2011] w następujących przypadkach:

- podczas konserwacji, np. pracownicy naprawiający maszynę mogą odnieść obrażenia, gdy maszyna zostanie przypadkowo włączona; podobne ryzyko występuje, gdy pracownicy narażeni są na działanie substancji niebezpiecznych lub jeśli podczas pracy muszą przyjmować wymuszoną pozycję ciała,
- wskutek niewłaściwego przeprowadzania konserwacji, np. używania niewłaściwych części do wymiany lub naprawy, co może być przyczyną poważnych wypadków,
- wskutek braku konserwacji, co może być przyczyną skrócenia żywotności sprzętu lub budynków, lecz także przyczyniać się do występowania wypadków – np. nienaprawione uszkodzenia podłogi w magazynie mogą być przyczyną wypadków z udziałem wózków widłowych, w wyniku których pracownicy mogą odnieść obrażenia, a przewożony towar ulec uszkodzeniu.

Poniżej przedstawiono niektóre minimalne wymagania i działania dostosowawcze, które powinny być spełnione przez maszyny [*Państwowa Inspekcja pracy, 2011*]:

- elementy sterownicze, które mają wpływ na bezpieczeństwo, powinny być widoczne i łatwe do zidentyfikowania oraz odpowiednio oznakowane;
- uruchomienie maszyny powinno być możliwe tylko poprzez celowe zadziałanie na przeznaczony do tego celu układ sterowania;
- ze względu na zagrożenia, jakie stwarzają maszyny, w zależności od czasu zatrzymania, wyposaża się je w urządzania zatrzymania awaryjnego;

- maszyny oraz ich części mocuje się za pomocą odpowiednich zaczepów lub innych podobnych urządzeń w celu zapewnienia ich stateczności;
- w przypadku wystąpienia ryzyka bezpośredniego kontaktu z ruchomymi częściami maszyn, mogącego powodować wypadki, stosuje się osłony lub inne urządzenia ochronne, które zapobiegałyby dostępowi do strefy zagrożenia lub zatrzymywałyby ruch części niebezpiecznych;
- miejsca i stanowiska pracy lub konserwacji maszyn odpowiednio oświetla się, stosownie do wykonywanych czynności;
- części maszyn o wysokiej lub bardzo niskiej temperaturze zabezpiecza się w celu uniknięcia ryzyka ich dotknięcia lub zbliżenia się do nich;
- maszyny odpowiednio zabezpiecza się przed: ryzkiem pożaru, przegrzania lub uwolnienia się gazu, pyłu oraz innych substancji wytwarzanych, używanych lub zmagazynowanych, ryzykiem wybuchu urządzenia lub substancji wytwarzanych,
- zagrożeniami wynikającymi z bezpośredniego lub pośredniego kontaktu z energią elektryczną;
- powinny być zastosowane rozwiązania zapewniające bezpieczny dostęp i przebywanie pracowników w obszarach produkcyjnych oraz strefach ustawiania i konserwacji maszyn;
- urządzenia ostrzegawcze maszyn powinny być jednoznaczne, łatwo dostrzegalne i zrozumiałe;
- jeżeli występuje ryzyko oderwania lub rozpadnięcia się części maszyn, pracodawca powinien zastosować odpowiednie środki;
- oznakowanie czytelnymi napisami w języku polskim lub za pomocą zrozumiałych symboli (wysokość napisów i symboli powinna wynosić minimum 3 mm);
- zastosowanie rozwiązań technicznych wykluczających możliwość samoczynnego uruchomienia, np. po opuszczeniu osłony z blokadą, zadziałaniu wyłącznika końcowego, przywróceniu napięcia zasilania;
- zastosowanie – w zależności od właściwości występujących czynników niebezpiecznych i szkodliwych dla zdrowia – obudów, okapów lub innych skutecznych urządzeń odciągu miejscowego (np. przy wannach, obrabiarkach do metali, piecach, suszarkach);
- osłony i inne urządzenia ochronne:
  - powinny mieć trwałą konstrukcję,
  - powinny być usytuowane w odpowiedniej odległości od strefy zagrożenia,
  - powinny umożliwiać wykonywanie czynności mających na celu zamocowanie lub wymianę części oraz umożliwiać wykonanie czynności konserwacyjnych, pozostawiając jedynie ograniczony dostęp do obszaru, gdzie praca ma być wykonywana, w miarę możliwości bez zdejmowania osłon i urządzeń zabezpieczających.

Wykaz ważniejszych przepisów prawnych i norm

- Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy (jednolity tekst Dz.U. z 1998 r. Nr 21, poz. 94 z późn. zmianami),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. *w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy* (Dz.U. Nr 191, poz. 1596, zm. Dz.U. z 2003 r. Nr 178, poz. 1745),
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 26 września 1997 r. *w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy* (jednolity tekst Dz.U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650 z późn. zmianami),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lipca 2009 r. *w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy procesach galwanotechnicznych* (Dz.U. Nr 126, poz.1043),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 kwietnia 2000 r. *w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy obsłudze obrabiarek do drewna* (Dz.U. Nr 36, poz. 409),
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 maja 2002 r. *w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy użytkowaniu wózków jezdniowych z napędem silnikowym* (Dz.U. Nr 70, poz. 650 z późn. zmianami),
- Rozporządzenie Ministrów Pracy i Opieki Społecznej oraz Zdrowia z dnia 19 marca 1954 r. *w sprawie bhp przy obsłudze przenośników* (Dz.U. Nr 13, poz. 51),
- Rozporządzenie Ministrów Pracy i Opieki Społecznej oraz Zdrowia z dnia 20 marca 1954 r. *w sprawie bhp przy obsłudze żurawi* (Dz.U. Nr 15, poz. 58),
- PN-EN ISO 12100:2011 *Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka*,
- PN-EN 953+A1:2009 *Bezpieczeństwo maszyn. Osłony. Ogólne wymagania dotyczące projektowania i budowy osłon stałych i ruchomych*,
- PN-EN ISO 13849-1:2008 *Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1. Ogólne zasady projektowania,*
- PN-EN ISO 13855:2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Umiejscowienie wyposażenia ochronnego ze względu na prędkości zbliżania części ciała człowieka,*
- PN-EN 60204-1:2010 *Bezpieczeństwo maszyn. Wyposażenie elektryczne maszyn. Część 1: Wymagania ogólne,*
- PN-EN 60529:2003 *Stopnie ochrony zapewnianej przez obudowy* (Kod IP).

Podsumowanie i wnioski

Aby zapewnić zakładowi efektywne utrzymanie ruchu niezbędne jest dostosowanie maszyn i urządzeń do wymagań bezpieczeństwa narzuconych przez unijne dyrektywy bezpieczeństwa i związane z nimi normy bezpieczeństwa. Podstawą wszelkich działań umożliwiających zapewnienie bezpieczeństwa w każdym zakładzie pracy powinna być ocena bezpieczeństwa maszyn i urządzeń własnego parku maszynowego. Koniecznie trzeba wziąć pod uwagę obowiązujące przepisy bezpieczeństwa maszyn i urządzeń. Kolejnym krokiem jest podjęcie działania, których celem jest dostosowanie maszyn do wymagań, określonych przez normy bezpieczeństwa maszyn i urządzeń.

Maszyny i inne urządzenia techniczne powinny być tak konstruowane i budowane, aby:

- zapewniały bezpieczne i higieniczne warunki pracy, w szczególności zabezpieczały pracownika przed urazami, działaniem niebezpiecznych substancji chemicznych, porażeniem prądem elektrycznym, nadmiernym hałasem, szkodliwymi wstrząsami, działaniem wibracji i promieniowania oraz szkodliwym i niebezpiecznym działaniem innych czynników środowiska pracy,
- uwzględniały zasady ergonomii.

Maszyny i inne urządzenia techniczne powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ergonomii, określone w Polskich Normach i właściwych przepisach, przez cały okres ich użytkowania.

LITERATURA

Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia Pracy, 2011: *Bezpieczeństwo eksploatacji maszyn, urządzeń i budynków dla pracodawców, bezpieczeństwo pracowników – oszczędność finansowa*
http://www.bezpieczenstwo-eksploatacji.pl/zasoby/Fact_89.pdf

Mazurek W.: *Wskaźnik OEE*. Neuron (05.03.2012).
http://www.neuron.com.pl/pliki/oee.pdf
http://www.neuron.com.pl/golemoee.html

Państwowa Inspekcja pracy, 2011: *Dostosowanie maszyn do minimalnych wymagań w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy*
http://www.pip.gov.pl/html/pl/doc/07011008.pdf